

**PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN (AIR, OLI SAE 140  
DAN AIR ES ) PADA PROSES *ARTIFICIAL AGING* TERHADAP  
NILAI KEKERASAN VELG LOKAL (AL-SI)**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi S1 pada  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

**Oleh :**

**MUHAMMAD HANAN WIYONO**

**D200160021**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2020**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN (AIR, OLI SAE 140 DAN AIR  
ES ) PADA PROSES *ARTIFICIAL AGING* TERHADAP NILAI  
KEKERASAN VELG LOKAL (AL-SI)**

**PUBLIKASI ILMIAH**

oleh:

**MUHAMMAD HANAN WIYONO**

**D200160021**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen  
Pembimbing



**Ir. Masyrukan, M.T.**

## HALAMAN PENGESAHAN

# PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN (AIR, OLI SAE 140 DAN AIR ES ) PADA PROSES *ARTIFICIAL AGING* TERHADAP NILAI KEKERASAN VELG LOKAL (AL-SI)


OLEH  
MUHAMMAD HANAN WIYONO  
D200160021

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Sabtu, 5 Desember 2020  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

### Dewan Penguji:

1. Ir. Masyrukan, M.T.  
(Ketua Dewan Penguji)
2. Amin Sulistyanto, S.T., M.T.  
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Ir. Agus Hariyanto, M.T.  
(Anggota II Dewan Penguji)

  
(.....)

  
(.....)

  
(.....)



Dekan Fakultas Teknik,

  
05012021  
Ir. Sri Sunariono, M.T., Ph.D., IPM.  
NIK. 682

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 20 Desember 2020

Penulis  


**MUHAMMAD HANAN WIYONO**  
**D200160021**

# **PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN (AIR, OLI SAE 140 DAN AIR ES) PADA PROSES *ARIFICIAL AGING* TERHADAP NILAI KEKERASAN VELG LOKAL (AL-SI)**

## **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi media pendinginan (air, oli SAE 40 dan air es) pada proses artificial aging terhadap nilai kekerasan velg lokal (Al-Si). Pembuatan spesimen dari bahan material velg lokal. Proses pembuatan spesimen menggunakan pengecoran metode sand casting. Spesimen uji diproses dengan langkah awal solution heat treatment temperatur 500°C waktu tahan 5 menit. Kemudian quenching dengan variasi media pendingin air, oli SAE 140 dan air es. Setelah quenching, dilakukan perlakuan panas artificial aging temperatur 180°C waktu tahan 4 jam. Hasil pengujian kekerasan setelah proses artificial aging terhadap raw material sebelum perlakuan panas meningkat pada media pendingin air dari 54.58 BHN menjadi 61,09 BHN, media oli SAE 140 dari 54.58 BHN menjadi 55,23 BHN dan media air es dari 54.58 BHN menjadi 61,09 BHN. Persentase kenaikan tertinggi terjadi pada media pendingin air dan air es sebesar 11,92%.

**Kata kunci :** artificial aging, kekerasan, media pendingin, perlakuan panas, velg lokal.

## **Abstract**

This study aims to determine the influence of variations in the cooling media (water, oil SAE 40 and ice water) in the process of artificial aging on hardness values of alloy wheels local (Al-Si). The manufacture of specimens of the material of alloy wheels local. The process of making specimens using casting methods of sand casting. Test specimens processed with the initial steps of solution heat treatment temperature of 500°C a holding time of 5 minutes. Then quenching with variation of the cooling medium water, oil SAE 140 and water ice. After quenching, heat treatment artificial aging temperature of 180°C a holding time of 4 hours. The results of testing the hardness after the process of artificial aging on the raw material before heat treatment is increased in the cooling medium water of 54.58 BHN be 61,09 BHN, oil medium SAE 140 of 54.58 BHN be 55,23 BHN and the media of ice water from 54.58 BHN be 61,09 BHN. The percentage of the highest increase occurred on the media cooling water and ice water of 11,92%.

**Key words:** artificial aging , hardness, cooling media, heat treatment, local wheels.

## **1. PENDAHULUAN**

Pada era sekarang ini dimana komponen otomotif bahan aluminium sangat dibutuhkan dalam dunia industri. Alasan mengapa aluminium mulai digunakan pada komponen otomotif adalah sifatnya yang ringan dan tahan korosi. Berbagai

cara untuk menciptakan produk lebih baik yaitu salah satunya dengan memodifikasi sifat material dari material lainnya.

Industri otomotif yang menggunakan bahan aluminium adalah velg mobil. Bahan baku utama dari velg mobil adalah paduan aluminium silikon (Al-Si). Paduan ini memiliki alir yang baik, mampu las yang baik, memiliki massa jenis yang rendah, sifat ketahanan korosi yang baik serta dapat meningkatkan sifat mekanis dengan perlakuan panas.

Aluminium dan paduan dicirikan oleh massa jenis yang relatif rendah ( $2.7 \text{ g/cm}^3$  dibandingkan dengan  $7.9 \text{ g/cm}^3$  untuk baja), konduktivitas listrik dan thermal yang tinggi, dan ketahanan terhadap korosi di beberapa lingkungan umum. Keterbatasan utama aluminium adalah temperatur cair yang rendah  $660^\circ\text{C}$ . Penambahan unsur paduan terhadap aluminium dapat meningkatkan sifat mekanis aluminium. Unsur paduan utama adalah termasuk tembaga, magnesium, silikon, mangan, dan seng. (William D. Callister, 2017)

Peningkatan kekuatan pada aluminium paduan dapat dilakukan perlakuan panas (*heat treatment*). Paduan aluminium dapat di kelompokkan menjadi paduan yang tidak bisa diberi perlakuan panas (*nonheat-treatable alloy*) dan paduan yang dapat diberi perlakuan panas (*heat-treatable alloy*). Pada umumnya golongan *nonheat-treatable alloy* adalah paduan yang mengandung mangan (Mn), silikon (Si) dan magnesium (Mg) . Peningkatan kekerasan dan kekuatan dari paduan aluminium secara teoritis dapat dicapai dengan perlakuan panas pelarutan (*solution treatment*), pencelupan (*quenching*), serta pengerasan penuaan (*aging*).

*Quenching* merupakan proses pendinginan yang dilakukan dengan cepat pada paduan setelah mengalami perlakuan panas. Jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan, yang kedua adalah komposisi kimia dan *hardenbility* dari logam tersebut. *Hardenbility* merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi dari logam juga berpengaruh terhadap hasil proses *quenching*. Media yang biasa digunakan dalam proses ini adalah air dan oli.

*Aging* (penuaan) adalah proses dimana terjadi atau berlangsung perubahan sifat-sifat dengan seiring berjalan waktu. Berdasarkan temperatur, proses *aging*

dibagi menjadi dua yaitu *natural aging* (penuaan alami) dan *artificial aging* (penuaan buatan). Pada penuaan buatan temperatur yang dibutuhkan 100°C - 200°C dalam waktu yang diperlukan selama 1 – 24 jam.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian yaitu :

1. Bagaimana komposisi kimia pada material bahan velg lokal (Al-Si) ?
2. Bagaimana pengaruh proses *artificial aging* terhadap nilai kekerasan variasi media pendingin (air, oli SAE 140 dan air es) material bahan velg lokal (Al-Si) ?
3. Bagaimana pengaruh proses *artificial aging* terhadap struktur mikro variasi media pendingin (air, oli SAE 140 dan air es) material bahan velg lokal (Al-Si) ?

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah diatas, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui komposisi kimia pada material bahan velg lokal (Al-Si).
2. Mengetahui pengaruh proses *artificial aging* terhadap nilai kekerasan variasi media pendingin (air, oli SAE 140 dan air es) material bahan velg lokal (Al-Si).
3. Mengetahui pengaruh proses *artificial aging* terhadap struktur mikro variasi media pendingin (air, oli SAE 140 dan air es) material bahan velg lokal (Al-Si).

Agar memudahkan pelaksanaan penelitian, sehingga tujuan penelitian dapat dicapai serta pembatasan masalah tidak meluas, maka perlu adanya batasan masalah. Batasan masalah yang diambil dalam penelitian ini antara lain :

1. Bahan material yang digunakan adalah velg lokal aluminium (Al-Si).
2. Media pendingin yang digunakan adalah air, oli SAE 140 dan air es.
3. Metode pengecoran yang digunakan adalah *sand casting*.
4. Mesin pemanas yang digunakan *furnace* Nabertherm GmbH Model N 61/H.
5. Temperatur pada *solution treatment* adalah 500°C selama 5 menit.
6. Temperatur pada proses *artificial aging* adalah 180°C.
7. Waktu tahan pada saat proses *artificial aging* adalah 4 jam.
8. Waktu tahan pendingan pada proses *quenching* dianggap sama.

9. Volume pada media pendingin 3 liter.
10. Pengujian kekerasan menggunakan uji kekerasan *Brinell* ASTM E10.

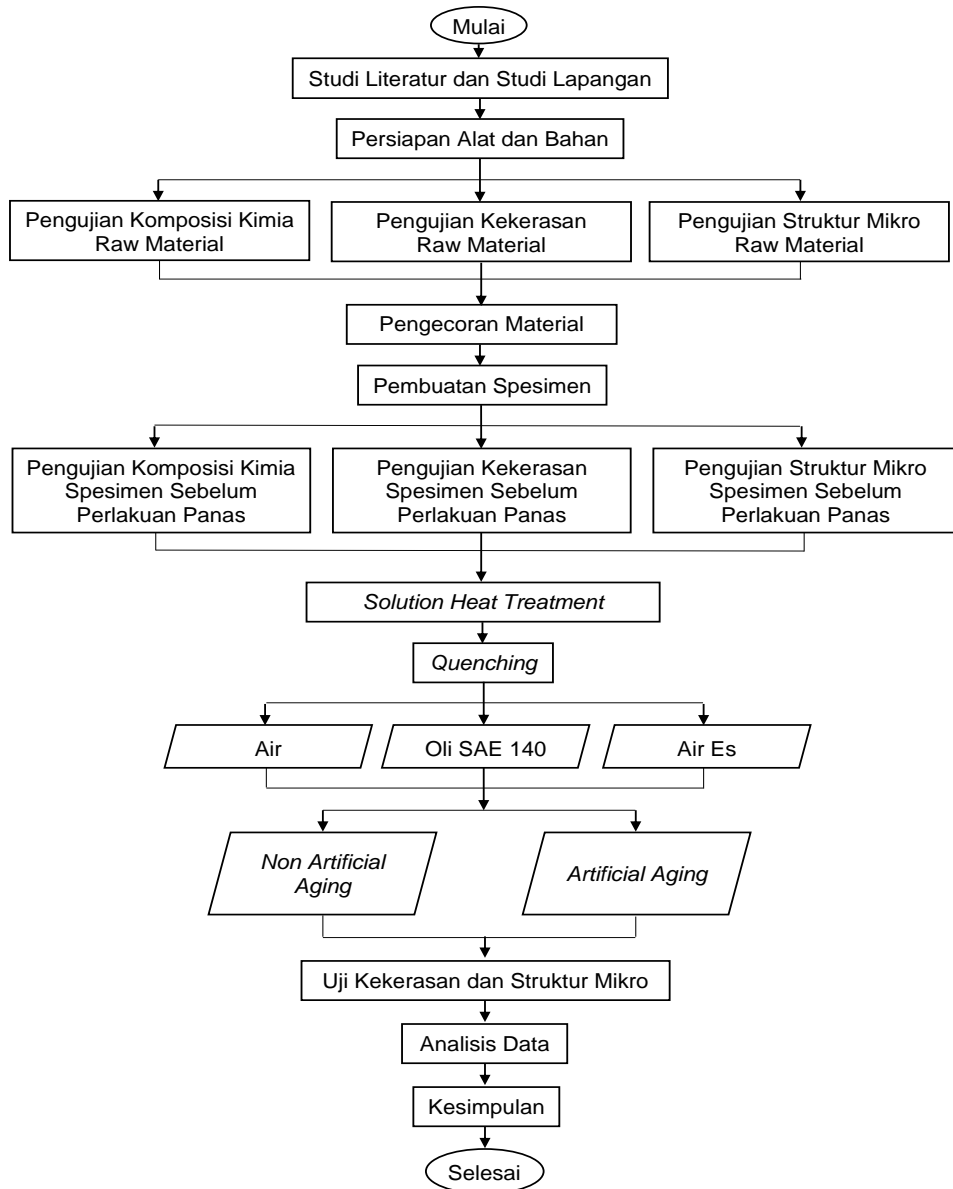
Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang positif baik untuk penulis sendiri atau dunia teknik mesin :

1. Memberikan pengetahuan dalam dunia teknik mesin yang berkaitan dengan *heat treatment* pada aluminium.
2. Menambah pemahaman tentang variasi media pendingin pada proses *artificial aging*.
3. Menambah pemahaman tentang pembacaan diagram fasa atau kurva aluminium.
4. Menambah pemahaman tentang sifat mekanis aluminium dalam velg.



## 2. METODE

### 2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## 2.2 Alat dan Bahan Penelitian

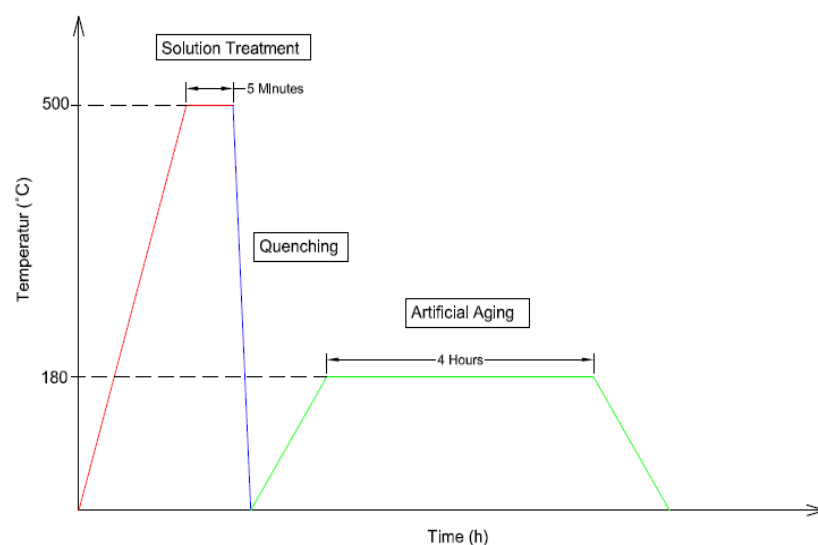
Alat yang digunakan pada penelitian sebagai berikut :

- |                                    |                              |
|------------------------------------|------------------------------|
| 1. Gerinda Potong                  | 10. Jangka Sorong            |
| 2. Alat Pemotong <i>Stereofoam</i> | 11. Amplas                   |
| 3. Cetakan                         | 12. Gelas Ukur               |
| 4. Tungku                          | 13. Wadah                    |
| 5. Kowi                            | 14. Mesin <i>Polish</i>      |
| 6. Kompor                          | 15. Alat Uji Komposisi Kimia |
| 7. Oven                            | 16. Alat Uji Kekerasan       |
| 8. <i>Infrared Thermometer</i>     | 17. Alat Uji Struktur Mikro  |
| 9. Penjepit Spesimen               |                              |

Bahan yang digunakan pada penelitian sebagai berikut : Bahan yang digunakan pada penelitian sebagai berikut :

- |                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| 1. Aluminium (Al)    | 5. Larutan Etsa |
| 2. <i>Stereofoam</i> | 6. Air          |
| 3. Pasir Cetak       | 7. Oli SAE 140  |
| 4. Gas Tabung        | 8. Air Es       |

## 2.3 Tahap Penelitian



Gambar 2. Skema Proses *Artificial Aging*

Berikut merupakan langkah – langkah yang dilakukan dalam proses *artificial aging* antara lain :

- a. Mempersiapkan spesimen yang akan di *treatment*.
- b. Mempersiapkan oven untuk proses *heat treatment*.
- c. Mempersiapkan wadah yang berisi media pendingin (air, oli SAE 140 dan air es) sebanyak 3 L.
- d. Oven dihidupkan kemudian spesimen dimasukan ke dalam oven.
- e. Tutup oven, kemudian *setting* suhu 500°C ditahan selama 5 menit untuk tahap *solution heat treatment*.
- f. Setelah berjalan selama 1.5 jam, spesimen di keluarkan kemudian dimasukkan ke dalam masing – masing wadah media pendingin atau disebut proses *quenching*.
- g. Mengambil beberapa spesimen dari masing – masing wadah media pendingin untuk dilakukan pengujian kekerasan dan struktur mikro.
- h. Setelah proses *quenching*, spesimen dimasukan kembali ke dalam oven. Dimana suhu oven harus kembali pada suhu awal.
- i. Tutup oven, kemudian *setting* suhu 180°C ditahan selama 4 jam atau disebut proses *artificial aging*.
- j. Setelah 4 jam berjalan, keluarkan spesimen dari oven. Dimana oven ditunggu hingga suhu awal.
- k. Kemudian dilakukan pengujian kekerasan dan struktur mikro pada spesimen.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan alat uji *Spectrometer (thermos ARL 3560 OES)*. Berikut adalah data dari hasil komposisi kimia pada velg lokal.

Tabel 1. Data Hasil Uji Komposisi Kimia Material Velg Lokal

Unsur	%
Si	3.65
Fe	0.8814
Cu	0.9400
Mn	0.3496
Mg	0.0507
Zn	1.7667
Ti	0.0302
Cr	0.0236
Ni	0.0509
Pb	0.1027
Sn	0.0002
Al	92.15

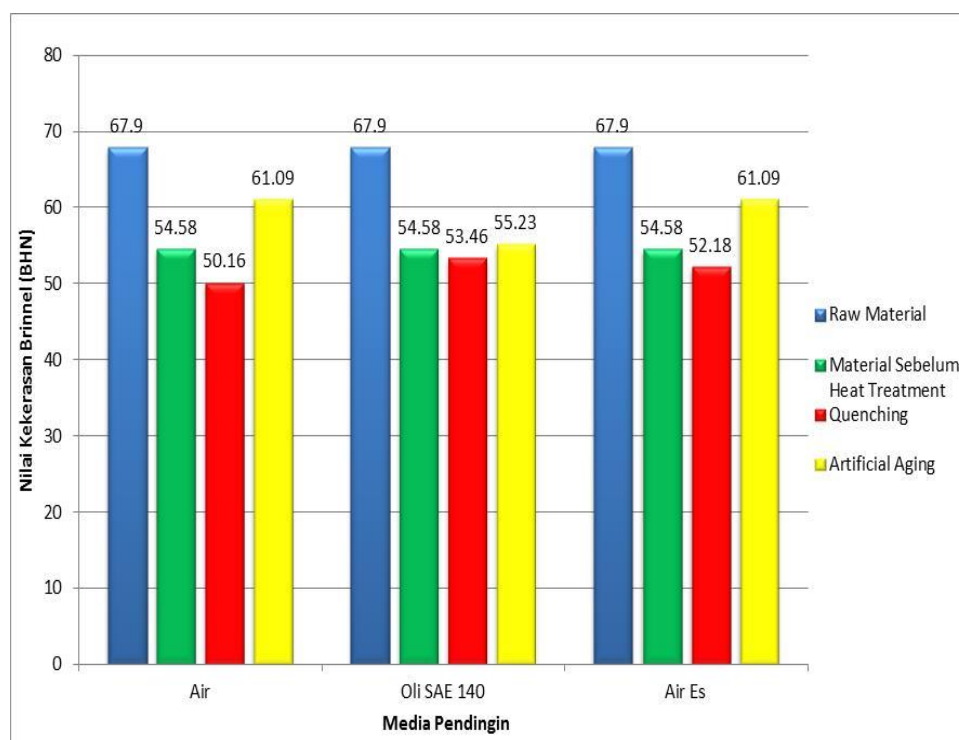
Berdasarkan hasil pengujian pada *raw material* aluminium tabel 4.1 tersebut terdapat 12 unsur paduan, dimana terdapat 5 unsur paduan yang paling dominan yaitu Silikon (Si) 3.65%, Seng (Zn) 1.7667%, Tembaga (Cu) 0.9400%, Besi (Fe) 0.8814% dan Mangan (Mn) 0.3496%. Unsur yang paduan yang paling besar adalah paduan Silikon (Si) 3.65%.

#### 3.2 Hasil Pengujian Kekerasan *Brinnel*

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan nilai kekerasan dari paduan Al-Si *raw material*, material sebelum perlakuan panas, sesudah *quenching* media air, oli SAE 140, air es dan sesudah proses *artificial aging* temperatur 180°C waktu tahan 4 jam dengan pembebanan 31.25 kgf.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Kekerasan *Brinell*

<i>Heat Treatment</i>	<i>Media Pendingin</i>	Nilai Kekerasan (BHN)	Nilai Rata-Rata (BHN)
Raw Material		67.30	67.90
		69.10	
		67.30	
Material Sebelum <i>Heat Treatment</i>		53.46	54.58
		55.15	
		55.15	
<i>Quenching</i>	Air	49.76	50.16
		49.76	
		50.95	
	Oli SAE 140	53.46	53.46
		53.46	
		53.46	
	Air Es	52.18	52.18
		52.18	
		52.18	
<i>Artificial Aging</i>	Air	60.57	61.09
		62.15	
		60.57	
	Oli SAE 140	54.78	55.23
		56.15	
		54.78	
	Air Es	62.15	61.09
		60.57	
		60.57	



Gambar 3. Diagram Hasil Uji Kekerasan Metode *Brinell*

### 3.2.1 Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan *Brinell*

Hasil pengujian kekerasan pada *raw* material didapat nilai kekerasan sebesar 67.90 BHN. Sedangkan nilai kekerasan pada material sebelum dilakukan proses perlakuan panas atau setelah peleburan (*remelting*) didapat sebesar 54.58 BHN. Hal ini menunjukkan bahwa proses peleburan (*remelting*) tersebut mengakibatkan penurunan nilai kekerasan. Proses peleburan (*remelting*) juga menyebabkan hilangnya perlakuan panas yang terbentuk pada material bahan.

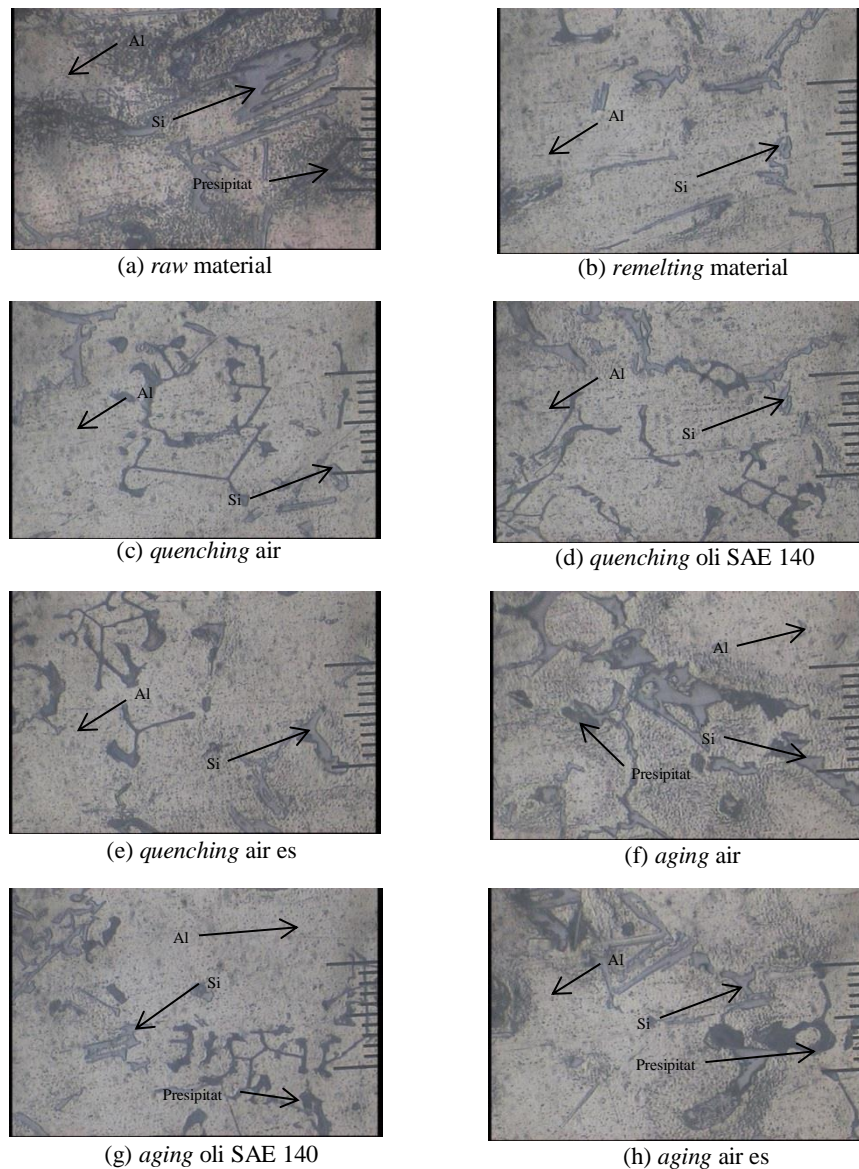
Hasil pengujian kekerasan pada proses *quenching* didapat nilai kekerasan pada masing-masing media pendingin air sebesar 50.16 BHN, oli SAE 140 sebesar 53.46 BHN dan air es sebesar 52.18 BHN. Persentase penurunan nilai kekerasan pada proses *quenching* terhadap material sebelum perlakuan panas media pendingin air sebesar 8.09%, oli SAE 140 sebesar 2.05% dan air es sebesar 4.39%. Fenomena diatas menunjukkan bahwa laju pendinginan pada media oli SAE 140 lebih cepat dibandingkan dengan media air dan air es. Dengan demikian, semakin cepat laju pendinginan maka nilai kekerasan yang didapat akan semakin tinggi.

Hasil pengujian kekerasan pada proses *artificial aging* temperatur 180°C dengan waktu penahanan 4 jam didapat nilai kekerasan pada masing-masing media pendingin air sebesar 61.09 BHN, oli SAE 140 sebesar 55.23 BHN dan air es sebesar 61.09 BHN. Persentase kenaikan nilai kekerasan pada proses *artificial aging* terhadap *quenching* media pendingin air sebesar 21.79%, oli SAE 140 sebesar 3.32% dan air es sebesar 17.07%. Nilai kekerasan pada *artificial aging* meningkat dikarenakan temperatur tersebut menyebabkan ukuran struktur silikon (Si) membesar dan meluas. Dengan demikian, temperatur dan waktu penahanan pada *artificial aging* menyebabkan perubahan ukuran struktur silikon (Si) sehingga mempengaruhi nilai kekerasan pada material. Persentase kenaikan nilai kekerasan pada *artificial aging* terhadap material sebelum perlakuan panas media pendingin air sebesar 11.92%, oli SAE 140 sebesar 1.19% dan air es

sebesar 11.92%. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan panas mengakibatkan peningkatan nilai kekerasan pada material.

### 3.3 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengamati bentuk, ukuran dan penyebaran butiran pada spesimen sebelum dan sesudah *artificial aging*. Berikut ini adalah hasil pengujian struktur mikro.



Gambar 4. Foto Struktur Mikro Material Uji

Dari hasil pengujian struktur mikro dapat dilihat bahwa *raw material* sudah mengalami proses perlakuan panas, hal tersebut ditandai dengan adanya presipitat yang sudah terbentuk. *Raw material* memiliki nilai kekerasan yang tinggi karena ukuran serta luasan silikon (Si) yang terbentuk terlihat besar dan merata. Struktur mikro pada material setelah proses peleburan (*remelting*) memiliki ukuran struktur silikon (Si) yang kecil, karena ukuran struktur silikon (Si) yang kecil maka nilai kekerasan rendah. Hal ini menunjukkan bahwa proses peleburan (*remelting*) menyebabkan perubahan bentuk serta ukuran silikon (Si).

Struktur mikro pada proses *quenching* dengan media pendingin air memiliki ukuran struktur silikon (Si) yang kecil. Sementara pada media pendingin oli SAE 140 memiliki ukuran struktur silikon (Si) yang besar. Sedangkan pada media pendingin air es memiliki ukuran struktur silikon (Si) yang kecil. Fenomena diatas menunjukkan bahwa laju pendinginan pada media pendingin air dan air es lebih lambat dibandingkan dengan media pendingin oli SAE 140. Dengan demikian, semakin lambat laju pendinginan pada media pendingin maka ukuran struktur silikon (Si) semakin kecil.

Struktur mikro pada proses *artificial aging* temperatur 180°C dengan waktu penahanan 4 jam pada media pendingin air memiliki ukuran serta luasan struktur silikon (Si) yang besar. Sementara pada media pendingin oli SAE 140 memiliki ukuran serta luasan struktur silikon (Si) yang kecil. Sedangkan pada media pendingin air es memiliki ukuran serta luasan struktur silikon (Si) yang besar. Proses *artificial aging* memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibanding proses *quenching* karena temperatur dan waktu penahanan yang digunakan cukup sehingga mengakibatkan struktur silikon (Si) yang terbentuk semakin besar atau mengalami pertumbuhan dan penyebaran luasan. Dengan demikian, temperatur dan waktu penahanan pada *artificial aging* mempengaruhi pertumbuhan ukuran dan penyebaran luasan struktur silikon (Si) pada material.

#### **4. PENUTUP**

##### **4.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data dan hasil pembahasan tentang pengaruh variasi media pendingin (air, oli SAE 140 dan air es) pada



proses *artificial aging* terhadap nilai kekerasan velg lokal (Al-Si), maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian komposisi kimia pada *raw material* velg lokal terdapat berupa aluminium (Al) 92.15%, silikon (Si) 3.65%, seng (Zn) 1.7667%, tembaga (Cu) 0.9400%, besi (Fe) 0.8814% dan mangan (Mn) 0.3496%. Sehingga dari unsur-unsur tersebut maka logam aluminium termasuk kedalam paduan aluminium-silikon (Al-Si) karena unsur silikon (Si) merupakan paduan terbesar 3.65%.
2. Dari hasil pengujian kekerasan pada proses *artificial aging* temperatur 180°C dengan waktu penahanan 4 jam didapat nilai kekerasan pada masing-masing media pendingin air sebesar 61.09 BHN, oli SAE 140 sebesar 55.23 BHN dan air es sebesar 61.09 BHN. Persentase kenaikan nilai kekerasan pada proses *artificial aging* terhadap *quenching* media pendingin air sebesar 21.79%, oli SAE 140 sebesar 3.32% dan air es sebesar 17.07%. Nilai kekerasan pada *artificial aging* meningkat dikarenakan temperatur tersebut menyebabkan ukuran struktur silikon (Si) membesar dan meluas. Dengan demikian, temperatur dan waktu penahanan pada *artificial aging* menyebabkan perubahan ukuran struktur silikon (Si) sehingga mempengaruhi nilai kekerasan pada material.
3. Dari hasil pengujian struktur mikro pada proses *artificial aging* temperatur 180°C dengan waktu penahanan 4 jam pada media pendingin air memiliki ukuran serta luasan struktur silikon (Si) yang besar. Sementara pada media pendingin oli SAE 140 memiliki ukuran serta luasan struktur silikon (Si) yang kecil. Sedangkan pada media pendingin air es memiliki ukuran serta luasan struktur silikon (Si) yang besar. Proses *artificial aging* memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibanding proses *quenching* karena temperatur dan waktu penahanan yang digunakan cukup sehingga mengakibatkan struktur silikon (Si) yang terbentuk semakin besar atau mengalami pertumbuhan dan penyebaran luasan. Dengan demikian, temperatur dan waktu penahanan pada *artificial aging* mempengaruhi pertumbuhan ukuran dan penyebaran luasan struktur silikon (Si) pada material.

## 4.2 Saran

Dalam penelitian selanjutnya, penulis mempunyai beberapa saran yang mungkin dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian selanjutnya antara lain :

1. Menggunakan bahan aluminium paduan yang bukan dari produk suatu barang.
2. Berhati-hati dalam menentukan waktu penahanan dan temperatur pada proses perlakuan panas khususnya artificial aging agar mendapat nilai sifat mekanis yang maksimal.
3. Menambahkan variasi penahanan pada proses *solution heat treatment* untuk mendapatkan fasa yang lebih homogen.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, Fuad (2010), *Perlakuan Panas Paduan Al-Si Pada Prototipe Piston Berbasis Material Piston Bekas*. Program Studi Magister Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.
- ASM International Vol.3 (1992), *Alloy Phase Diagrams*. ASM International: The Materials Information Company.
- ASM Metals Handbook Vol.2 (1990), *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International: The Materials Information Company.
- Aziz, Akid Abdul (2020), *Pengaruh Artificial Aging Variasi Holding Time 60 Menit, 90 Menit dan 120 Menit Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Pada Aluminium Paduan (Al-Cu)*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Callister, D. William (2008), *Materials Science and Engineering An Introduction Seventh Edition*. Departement of Metallurgy Engineering The University of Iowa.
- Callister, D. William (2018), *Materials Science and Engineering An Introduction Tenth Edition*. Departement of Metallurgy Engineering The University of Iowa.

- Darmawan, Agung Setyo (2020), *Ilmu Bahan Teknik*. Muhammadiyah University Press.
- E. A Strake (2017), *Heat-Treatable Aluminum Alloys*. Department of Materials Science University of Virginia Charlottesville.
- H, Avner Sidney (1974), *Introduction to Physical Metallurgy Second Edition*. New York City Community College City University of New York.
- Hatch, John. E (1984), *Aluminium Properties and Physical Metallurgy*. ASM International United States of America.
- HMMA Rashed dan AKM Bazlur Rashid (2017), *Heat Treatment of Aluminium Alloys*. University of Engineering and Technology Bangladesh.
- Kaufman, J Gilbert (2000), *Introduction to Aluminium Alloys and Tempers*. ASM International United States of America.
- Mu'afax, Ferdiaz Dinov (2013), *Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Remelting Al-Si Berbasis Limbah Piston Bekas dengan Perlakuan Degassing*. Jurusan Pendidikan Teknik dan Kejuruan FKIP Universitas Negeri Surakarta.
- Mujiat, Jayat (2010), *Analisis Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Paduan Al 2014 Hasil Proses Aging dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan*. Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Rajan, T.V (2011), *Heat Treatment Principles and Techniques Second Edition*. Department of Metallurgy and Materials Engineering Malaviya National Institute of Technology Jaipur.
- S, Affandy (2015), *Pengaruh Suhu Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Komposit Al-Mg-Si*. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Setiyawan, Dedi (2018), *Pengaruh Aging 180°C Dengan Waktu 1-9 Jam Pada Al-Cu Remelting*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
- Tata Surdia dan Shinroku Saito (1999), *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Pradnya Paramita Jakarta.

- Totten, George E (2003), *Handbook of Aluminum Volume 1 Physical Metallurgy and Processes*. Marcel Dekker, Inc. New York Basel
- Widyatmoko, M Riky (2019), *Perbandingan Artificial Aging dengan Natural Aging Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Pada Aluminium (Al-Cu)*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.